

Научная статья

УДК 629.5.07

DOI: 10.24412/2658-4255-2026-1-54-65



EDN: IQXNMA

Для цитирования:

Гельвер Ф.А. Управление гребным электроприводом при ограничениях, наложенных на мощность электростанции в единой электроэнергетической системе // Российская Арктика. 2026. Т. 8. № 1. С. 54–65.

<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2026-1-54-65>

Получена: 09.02.2026

Принята: 02.03.2026

Опубликована: 07.04.2026

For citation:

Gelver FA. Control of the propeller electric drive under restrictions imposed on the power plant capacity in the unified power system. Russian Arctic. 2026;8(1):54–65. (In Russ.).

<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2026-1-54-65>

Received: 09.02.2026

Accepted: 02.03.2026

Published: 07.04.2026

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Финансирование.

Исследование не имело спонсорской поддержки



УПРАВЛЕНИЕ ГРЕБНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ, НАЛОЖЕННЫХ НА МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ЕДИНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Ф.А. Гельвер^{1*}

¹ Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: *gelver@bk.ru**Аннотация**

В статье предложен способ адаптивного управления гребным электроприводом в единой электроэнергетической системе при ограничениях, наложенных на мощность, вырабатываемую судовой электростанцией. Адаптивность управления заключается в изменениях величины допустимого электромагнитного момента в зависимости от «свободной» мощности, вырабатываемой электростанцией, и требуемой частоты вращения, а также мощности на гребном винте. Предложенный способ адаптивного ограничения мощности посредством ограничения величины электромагнитного момента позволяет реализовать работу электропривода как в статическом, так и в динамическом режимах работы. Такое управление позволит ограничить потребляемую от электростанции мощность на уровне, не превышающем ее текущее установленное значение, и, как следствие, исключить ее перегрузку и возможное возникновение аварийных ситуаций. Кроме того, такое управление позволит автоматизировать работу энергетических установок электростанции, обеспечив их ввод или вывод из работы в зависимости от требуемой текущей мощности, необходимой потребителям электрической энергии. Такое управление обеспечит загрузку работающих энергетических установок электростанции суммарной мощностью, близкой к установленной, что также благоприятно скажется на ресурсе работы энергетических установок электростанции. Кроме того, предложенный способ управления гребным электроприводом, помимо рациональной загрузки источников энергии, позволит обеспечить высокую экономичность и снижение эксплуатационных затрат, улучшить качество протекания электромагнитных процессов в единой электроэнергетической системе.

Ключевые слова: гребной электропривод, система управления, статическое и динамическое поведение, настройка на технический оптимум, контур виртуальной диссипации, адаптивный ограничитель мощности, синхронная реактивная машина с анизотропной магнитной проводимостью ротора, энергетическая эффективность

CONTROL OF THE PROPELLER ELECTRIC DRIVE UNDER RESTRICTIONS IMPOSED ON THE POWER PLANT CAPACITY IN THE UNIFIED POWER SYSTEM

Fedor A. Gelver^{1*}

¹ Admiral S.O. Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, Russia

E-mail: *gelver@bk.ru**Abstract**

The article proposes a method for adaptive control of a rowing electric drive in a single electric power system under restrictions imposed on the power generated by a marine power plant. The adaptability of the control consists in changes in the magnitude of the permissible electromagnetic

torque depending on the "free" power generated by the power plant and the required rotational speed, as well as the power on the propeller. The proposed method of adaptive power limitation by limiting the magnitude of the electromagnetic moment allows the electric drive to operate in both static and dynamic operating modes. Such control will make it possible to limit the power consumed from the power plant at a level not exceeding its current set value, and, as a result, to eliminate its overload and the possible occurrence of emergency situations. In addition, such control will automate the operation of power generating systems of the power plant, ensuring their commissioning or decommissioning, depending on the current capacity required by consumers of electric energy. Such management will ensure that the operating power generating systems of the power plant are loaded with a total capacity close to the installed capacity, which will also have a beneficial effect on the operating life of the power generating systems of the power plant. In addition, the proposed method of controlling a propeller electric drive, in addition to rational utilization of energy sources, will ensure high efficiency and reduce operating costs, and improve the quality of electromagnetic processes in a single electric power system.

Keywords: propulsion electric drive, control system, static and dynamic behavior, tuning to technical optimum, virtual dissipation circuit, adaptive power limiter, synchronous reluctance machine with anisotropic magnetic conductivity of the rotor, energy efficiency

Введение

Единая электроэнергетическая система судна является сложным автономным комплексом взаимодействующих систем, в которой происходит выработка, распределение, преобразование и потребление электрической энергии [1, 2]. Вырабатываемая в судовой электростанции электрическая энергия потребляется гребным электроприводом, потребителями собственных нужд, а также специальными потребителями электрической энергии характерными конкретному типу и назначению судна [2–4]. При этом любая единая электроэнергетическая система характеризуется количеством, типом, числом, номинальной мощностью источников электрической энергии или электрических станций, а также количеством и номинальной мощностью потребителей электрической энергии. При проектировании судовой электростанции используют различные методы и способы расчета числа и мощности электростанций, необходимых для покрытия наиболее часто востребованных режимов работы потребителей [5, 6]. При этом оптимизируют число и установленную мощность электростанций так, чтобы их загрузка в текущем режиме работы была близка к номинальной. При расчетах учитывают различные факторы, такие как состав потребителей для соответствующего режима, коэффициент одновременности, коэффициент загрузки и т.д. Кроме всего такой расчет выполняют для статических режимов ее работы, не учитывая переходные процессы в электроэнергетической системе. На практике количество потребителей и потребление ими электрической энергии постоянно меняется и значение суммарного потребления электрической энергии носит вероятностный характер распределения как в установившихся, так и в динамических режимах работы. При этом гребная электрическая установка в режимах, связанных с движением судна, является самым энергозатратным потребителем электрической энергии. Перевод гребной электрической установки из одного статического режима работы в другой статический режим происходит в результате протекания переходного процесса с выработкой или потреблением избыточной мощности. В зависимости от настройки системы управления и скорости протекания переходного процесса это может приводить к недогрузке или перегрузке источников электрической энергии и их приводных механизмов, а также к искажениям и ухудшению качества вырабатываемой электроэнергии. Последствиями чего могут являться снижение производительности и эффективности работы электростанции, уменьшение ее срока службы, закоксовывание двигателей внутреннего сгорания генераторных агрегатов, а также выходу из строя электрооборудования электроэнергетической системы. Кроме всего, вырабатываемая и потребляемая мощности в электростанции постоянно меняются и зависят от состава и мощности работающих генерирующих агрегатов и режима работы различных электрических нагрузок, включая потребители собственных нужд. При перегрузках электростанции может произойти отключение электропитания электропривода гребной установки с потерей управляемости и хода, что может

отразиться не только на безопасности судна, но и безопасности эксплуатирующего его персонала. Данные проблемы отражены во множестве научных трудов [2–8] но на практике, как правило, остаются не решенными по ряду причин. В работе [8] предложена универсальная система управления с ограничениями, наложенными на величины мощности, электромагнитного момента и скорости вращения гребного винта, реализующая управление с постоянством мощности, однако не реализующая учет величины «свободной» мощности вырабатываемой электростанцией. Таким образом, заявленная цель исследования заключается в устранении недостатков существующих методов управления электроприводом гребной электрической установки и предотвращении ситуаций перегрузки источников электрической энергии как в статических, так и в динамических режимах работы автономной электроэнергетической системы. Цель достигается путем реализации адаптивного управления электроприводом гребной установки с учетом текущей «свободной» мощности, вырабатываемой электростанцией.

Адаптивное ограничение мощности гребного электропривода

Основной переменной состояния в электроприводе является электромагнитный момент, формируя который можно осуществлять управление иными переменными состояниями механической части электропривода. Таким образом, предлагается исходя из текущей загрузки работающих электростанций и их суммарной установленной мощности, а также задания на частоту вращения гребного винта (нескольких гребных винтов) формировать текущее задание на величину ограничения электромагнитного момента и, соответственно, ограничивать динамику разгона электропривода гребной электрической установки таким образом, чтобы нагрузка электростанции по мощности (току) не выходила за уровень номинального значения. То есть, величина ограничения на задание электромагнитного момента, формируемого электроприводом, определяется согласно:

$$M_{огр}^* = \frac{P_{св}^*}{\omega^*},$$

где $M_{огр}^*$ – величина ограничения на задание электромагнитного момента, $P_{св}^*$ – свободная мощность, вырабатываемая электростанцией, определяемая разницей между установленной мощностью электростанции и текущей мощностью потребителей собственных нужд, потребляемой от электростанции, ω^* – текущая частота вращения электрической машины электропривода.

При этом полагается, что система управления электрическим преобразователем, управляя токами электрической машины, осуществляет формирование требуемого значения электромагнитного момента [9]. Такое управление становится возможным, так как контур управления электромагнитным моментом имеет высокое быстродействие, на порядок превосходящее контур управления частотой вращения электрической машины. При управлении электрической машиной переменного тока от двухзвенного преобразователя частоты активная мощность на валу электропривода, за вычетом потерь в электрическом силовом канале электропривода, будет равна полной свободной мощности электростанции. Для реализации предложенного способа управления гребной электрической установкой в единой электроэнергетической системе необходимо обеспечить информационное взаимодействие между сопрягаемыми системами (электрической станцией и электроприводом гребной электрической установки), а также реализовать адаптивную систему управления электроприводом. Данная система управления будет формировать текущее ограничение задания электромагнитного момента в зависимости от существующей на данный момент загрузки электростанции по мощности (1). Управляющее воздействие системы управления при этом задается пропорционально частоте вращения гребного винта. На рисунке 1 представлена структурная схема адаптивного управления гребным электроприводом в зависимости от текущей установленной мощности электростанции и мощности потребления электрическими нагрузками.

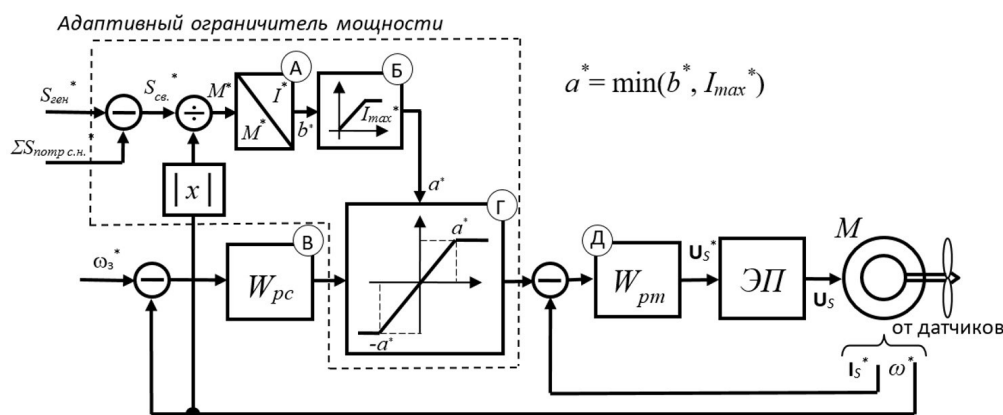


Рисунок 1. Структурная схема адаптивного управления гребным электроприводом в зависимости от текущих значений (установленной мощности электростанции и суммарной мощности потребления электрическими нагрузками собственных нужд): А – блок преобразования момента в ток; Б – блок ограничения тока электрического преобразователя; В – регулятор скорости; Г – блок ограничения тока нагрузки; Д – регулятор тока нагрузки; ЭП – электрический преобразователь; М – электрическая машина

В представленной структурной схеме реализован следующий алгоритм работы, если вырабатываемая электростанцией мощность с учетом покрытия мощности потребителей собственных нужд достаточна для покрытия динамического и статического режимов работы электропривода, управление осуществляется с отработкой системой управления заданной частоты вращения. При этом суммарная мощность, потребляемая всеми нагрузками в статическом и динамическом режиме работы, не превышает установленной мощности вырабатываемой электростанцией. Если вырабатываемая электростанцией мощность с учетом покрытия мощности потребителей собственных нужд недостаточна, то управление электроприводом осуществляется в режиме адаптивного ограничения мощности и отработки электроприводом той частоты вращения, при которой достигается значение величины «свободной» мощности вырабатываемой электростанцией. При этом текущая частота вращения гребного винта электропривода будет равна или меньше заданной в зависимости от величины момента нагрузки.

Таким образом, предложенная система управления электроприводом с адаптивным ограничителем момента может работать в двух режимах:

- режим управления частотой вращения, если суммарная мощность потребителей и электропривода, необходимая для достижения заданной частоты вращения, не превышает мощности электростанции;
- режим ограничения момента (тока или мощности), если требуемая суммарная мощность превышает текущую установленную мощность электростанции. В этом случае фактическая частота вращения, реализуемая системой управления, будет соответствовать мощности, равной разности между установленной мощностью электростанции и текущей суммарной мощностью потребителей собственных нужд.

Предельная динамическая возможность электропривода гребной электрической установки будет ограничена допустимыми токовыми нагрузками на полупроводниковые ключи электрического преобразователя, а также допустимыми динамическими нагрузками на механизм гребного винта, которые определяются величиной I_{max}^* блока ограничения тока электрического преобразователя (блок Б, рис.1). Следует отметить, что, несмотря на введенный блок ограничения момента (тока) управление в электроприводе осуществляется частотой вращения с наложением ограничения на величину «свободной» мощности, вырабатываемой электростанцией.

При практической реализации предложенной структуры, в случае недостаточной «свободной» мощности вырабатываемой электростанцией, система управления электростанцией может либо изыскать дополнительную мощность, подключив в электроэнергетическую систему дополнительный источник, либо отключить не важные электрические потребители собственных нужд, либо оставить электропривод гребного винта работать с частотой вращения менее заданной. При увеличении величины «свободной» мощности вырабатываемой электростанцией и текущем ограничении частоты вращения системой управления электроприводом могут быть реализованы следующие сценарии:

- выполнение запроса у судоводителя на возможное увеличение частоты вращения, которое не превысит в предложенной структуре заданной величины;

- автоматизированный рост частоты вращения гребного винта, пропорциональной кубическому корню от «свободной» мощности, вырабатываемой электростанцией, до величины, не превышающей заданного значения частоты вращения гребного винта.

В обратном случае при значительной «свободной» мощности, вырабатываемой электростанцией, и работе электропривода гребного винта на заданной частоте вращения система управления электростанцией может вывести из работы генераторный агрегат либо агрегаты, покрывающие избыточную «свободную» мощность, вырабатываемую электростанцией, либо предложить судоводителю повысить частоту вращения гребного винта и, как следствие, мощность, потребляемую электроприводом.

Идея предложенной структуры может быть распространена на гребную электрическую установку с несколькими гребными винтами и множеством генераторных агрегатов электростанции. Для ее реализации потребуется лишь организовать информационное взаимодействие между собой системы управления электроприводом и системы управления электроэнергетической установкой и электростанциями. Кроме всего, такой подход к адаптивному ограничению момента, а в конечном счете к ограничению потребляемой мощности электроприводом от электростанции как в статическом, так и динамическом режиме работы может быть распространен на любые автономные электроэнергетические системы. Такой подход к управлению электроприводом может быть применен в системах генератор-двигатель и позволит осуществить установку генераторных агрегатов равной мощности гребного электропривода без обеспечения запаса по мощности на динамику, что характерно для генераторных агрегатов с тепловыми двигателями внутреннего сгорания.

Математическое моделирование адаптивного ограничения мощности при управлении гребным электроприводом

Для верификации предложенного алгоритма управления гребным электроприводом была разработана математическая модель электропривода и выполнено ее математическое моделирование. В качестве гребного электропривода рассмотрен синхронный электропривод на основе реактивной электрической машины с анизотропной магнитной проводимостью ротора [10–12]. Структурная схема адаптивной системы управления моментом гребного синхронного электропривода на основе реактивной электрической машины с анизотропной магнитной проводимостью ротора представлена на рисунке 2.

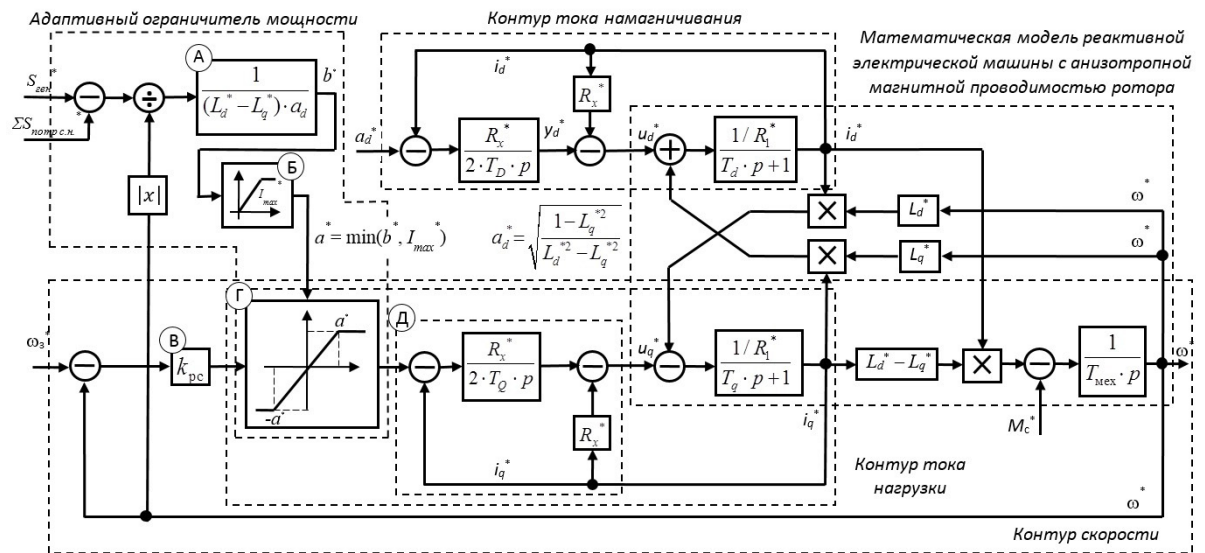


Рисунок 2. Структурная схема адаптивной системы управления моментом гребного синхронного электропривода на основе реактивной электрической машины с анизотропной магнитной проводимостью ротора: А – блок преобразования момента в ток; Б – блок ограничения тока электрического преобразователя; В – регулятор скорости; Г – блок ограничения тока нагрузки; Д – регулятор тока нагрузки

Структурная схема, представленная на рисунке 2, реализует адаптивное управление мощностью гребного синхронного электропривода на основе реактивной электрической машины с анизотропной магнитной проводимостью ротора по критерию максимального быстродействия (при постоянном намагничивании магнитопровода). Кроме представленной структуры, при необходимости могут быть синтезированы структуры по иным критериям управления реактивной электрической машиной с анизотропной магнитной проводимостью ротора [12]. В структуре использована двухконтурная подчиненная система управления продольным и поперечным токами, при этом во внутреннем контуре

используется пропорциональный параллельный регулятор, а во внешнем – последовательный интегральный регулятор, обеспечивающий астатическое управление токами. Внутренний контур осуществляет подавление колебательной составляющей электромагнитных процессов и называется контуром виртуальной диссипации. Благодаря введению в систему управления контуров виртуальной диссипации удастся добиться появления свойств робастности управления. Синтез системы управления электроприводом выполнен методом последовательной коррекции с настройкой системы на технический оптимум [9]. Более подробно описание математической модели реактивной электрической машины с анизотропной магнитной проводимостью ротора и синтез алгоритмов управления данной электрической машиной представлено в [12].

Для моделирования нагрузки гребного винта судна используем механические характеристики $M_c = f(\omega)$, которые хорошо аппроксимируются зависимостью:

$$M_c^* = c \cdot \omega^{*2} \cdot \text{sign}^*(\omega^*),$$

где c – коэффициент, зависящий от условий работы судна, $c = 1$ в швартовном режиме работы и $c < 1$ в режиме работы в свободной воде, $\text{sign}(x)$ – знаковая функция. Зависимость между скоростью и мощностью может быть записана в виде: $P^* = c \cdot \omega^{*3}$.

Математическое моделирование адаптивной системы управления гребным синхронным электроприводом на основе реактивной электрической машины с анизотропной магнитной проводимостью ротора выполнено в программной среде *SimInTech*.

Параметры структурной схемы для моделирования динамических процессов представлены в окне параметров модели на рисунке 3.

```

Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
{Параметры РЭМАМП}
      R1=0.03
      Ld=2
      Lq=0.2
      Tmex=2
      Td=Ld/R1
      Tq=Lq/R1
      Rx=1
      wb=314
      TD=Ld/(wb*Rx)
      TQ=Lq/(wb*Rx)
      Kpc=Tmex/(4*TQ)
      ad=sqrt((1-Lq^2)/(Ld^2-Lq^2))
      Imax=2
end;

```

Рисунок 3. Окно задания параметров структурной схемы гребного электропривода

При построении и синтезе системы управления, а также при моделировании используются относительные единицы [9]. Относительные величины для представленной структуры находятся как отношение соответствующих именованных и базовых величин. Для наглядности при моделировании не учитывались потери в элементах электромеханического канала преобразования, но при необходимости они могут быть легко учтены.

Для иллюстрации работы адаптивного ограничения мощности при пуске в ход и работе гребного электропривода выполнено математическое моделирование поведения основных переменных состояния. На рисунке 4 представлены результаты математического моделирования пуска гребного электропривода в ход и работы при задании частоты вращения, равной единице, и «свободной» мощности электростанции, равной 0,2.

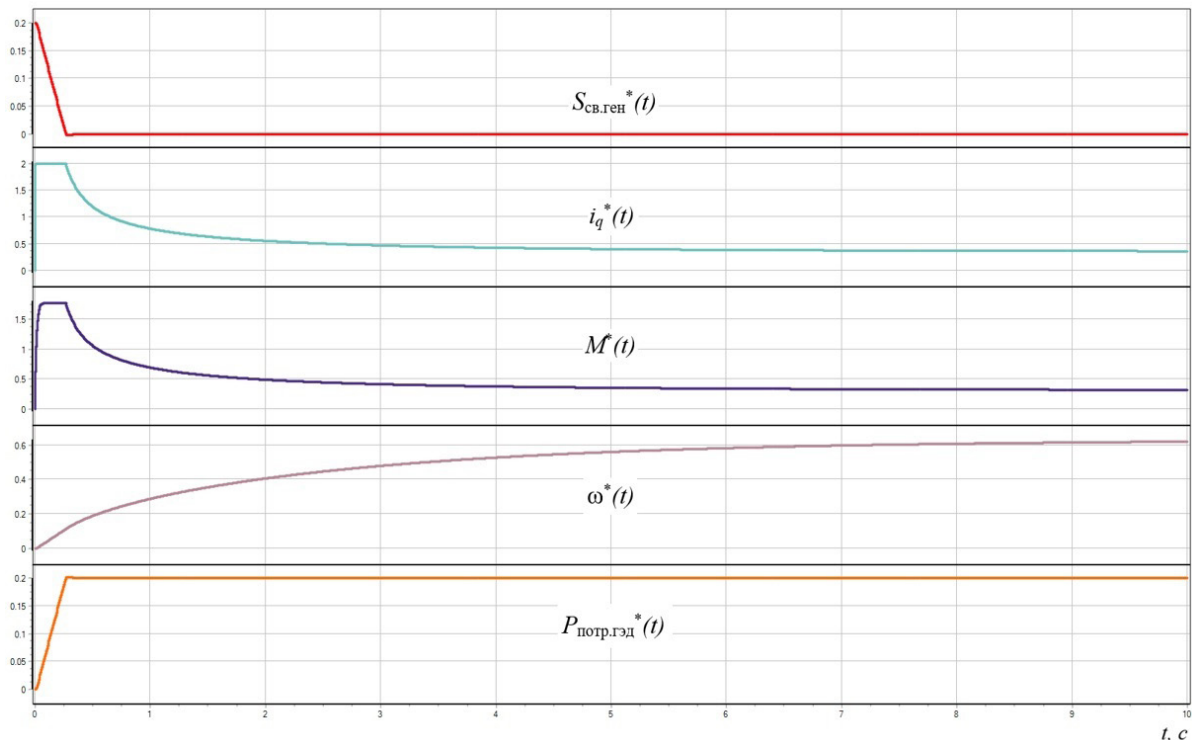


Рисунок 4. Результаты математического моделирования пуска гребного электропривода в ход и работы при задании частоты вращения, равной единице, и «свободной» мощности электростанции, равной 0,2 (на графиках: $S_{св.ген}^*$ – «свободная» мощность, генерируемая электростанцией; i_q^* – ток нагрузки; M^* – величина электромагнитного момента; ω^* – угловая частота вращения; $P_{потр.гэд}^*$ – мощность, потребляемая гребным электроприводом)

На рисунке 5 представлена фазовая траектория $\omega^* = f(M^*)$ при пуске и работе гребного электропривода при задании частоты вращения, равной единице, и «свободной» мощности электростанции, равной 0,2.

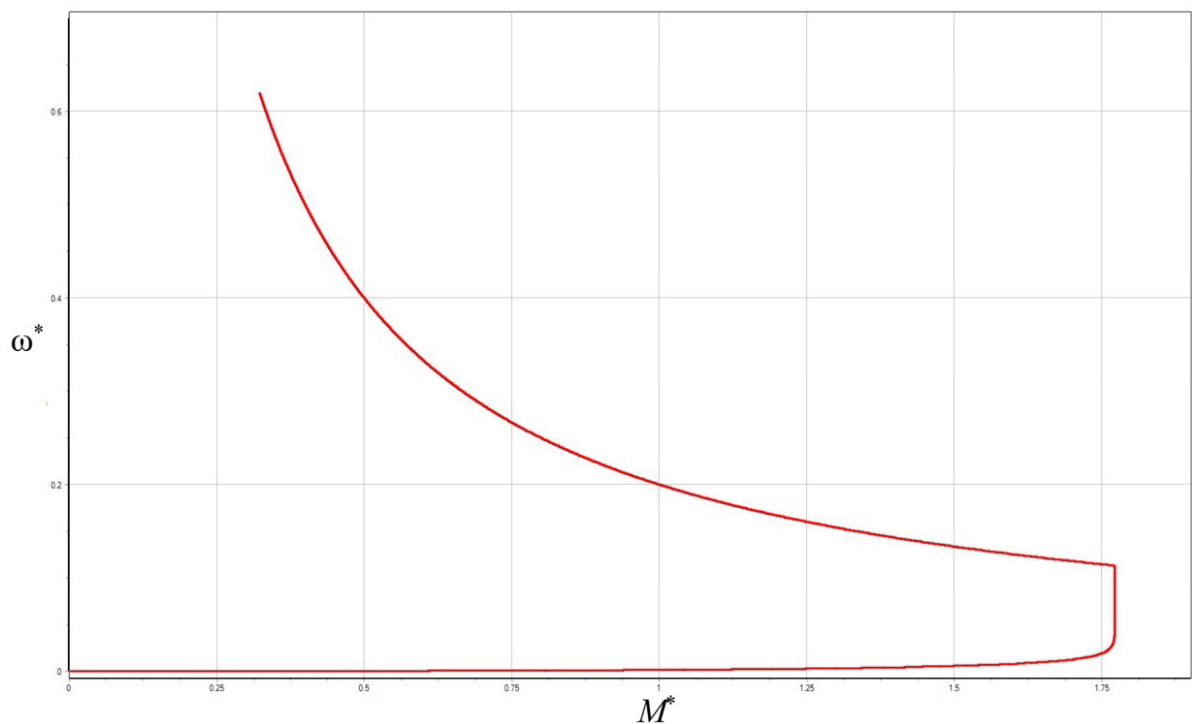


Рисунок 5. Фазовая траектория $\omega^* = f(M^*)$ при пуске и работе гребного электропривода при задании частоты вращения, равной единице, и «свободной» мощности электростанции, равной 0,2

Согласно полученным результатам, на рисунках 4 и 5, система управления электроприводом ограничила потребляемую от электростанции мощность до уровня доступной («свободной») мощности. При этом установившаяся фактическая угловая частота вращения гребного винта отличается от заданной и соответствует уровню доступной мощности электростанции при заданном характере нагрузки.

Для иллюстрации работы адаптивного ограничения мощности при пуске в ход и работе гребного электропривода на номинальной мощности, равной «свободной» мощности электростанции, выполнено математическое моделирование. На рисунке 6 представлены результаты математического моделирования пуска и работы гребного электропривода при задании частоты вращения, равной единице, и «свободной» мощности электростанции, равной 0,8.

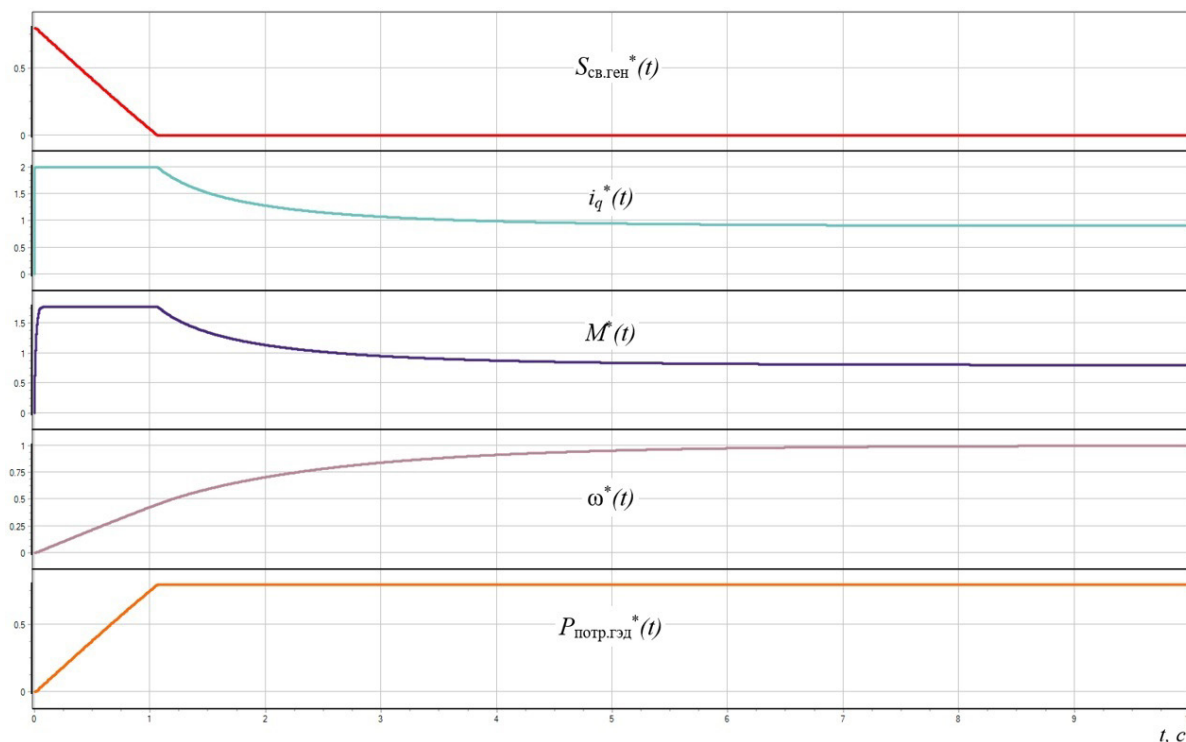


Рисунок 6. Результаты математического моделирования пуска и работы гребного электропривода при задании частоты вращения, равной единице, и «свободной» мощности электростанции, равной 0,8

На рисунке 7 представлена фазовая траектория $\omega^* = f(M^*)$ при пуске и работе гребного электропривода при задании частоты вращения, равной единице, и «свободной» мощности электростанции, равной 0,8.

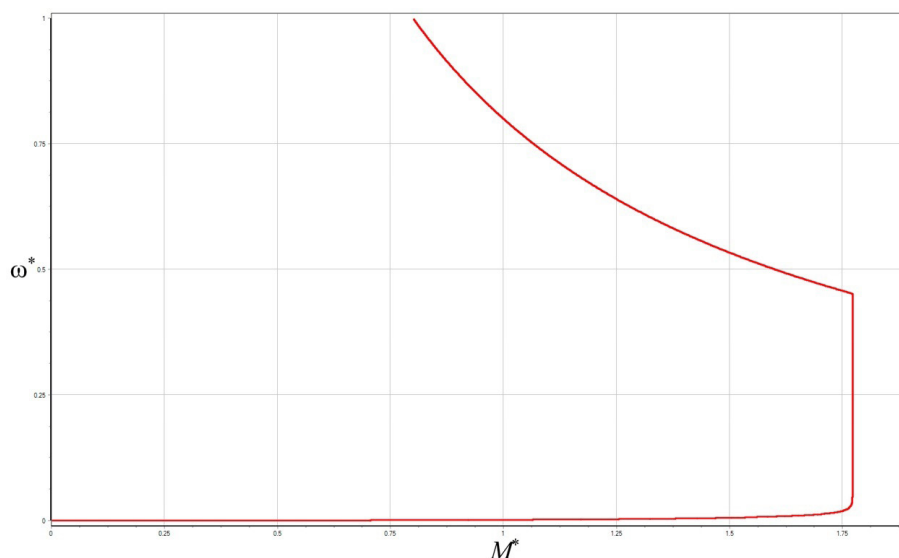


Рисунок 7. Фазовая траектория $\omega^* = f(M^*)$ при пуске и работе гребного электропривода при задании частоты вращения, равной единице, и «свободной» мощности электростанции, равной 0,8

По результатам проведенного моделирования, представленным на рисунках 6 и 7, система управления электроприводом ограничила потребляемую от электростанции мощность в динамическом режиме работы до уровня доступной («свободной») мощности, равной 0,8, при этом в статическом режиме работы установившаяся фактическая угловая частота вращения гребного винта равна заданной. Согласно рисункам 6 и 7, в процессе пуска электропривода значительно ограничивается величина электромагнитного момента, что приводит к затягиванию процесса пуска электропривода до заданной частоты вращения.

Для иллюстрации работы адаптивного ограничения мощности при пуске в ход и работе гребного электропривода на номинальной мощности и «свободной» мощности электростанции, превышающей номинальную на величину допустимой перегрузочной способности, выполнено математическое моделирование. На рисунке 8 представлены результаты математического моделирования пуска и работы гребного электропривода при задании частоты вращения, равной единице, и «свободной» мощности электростанции, равной 1,8.

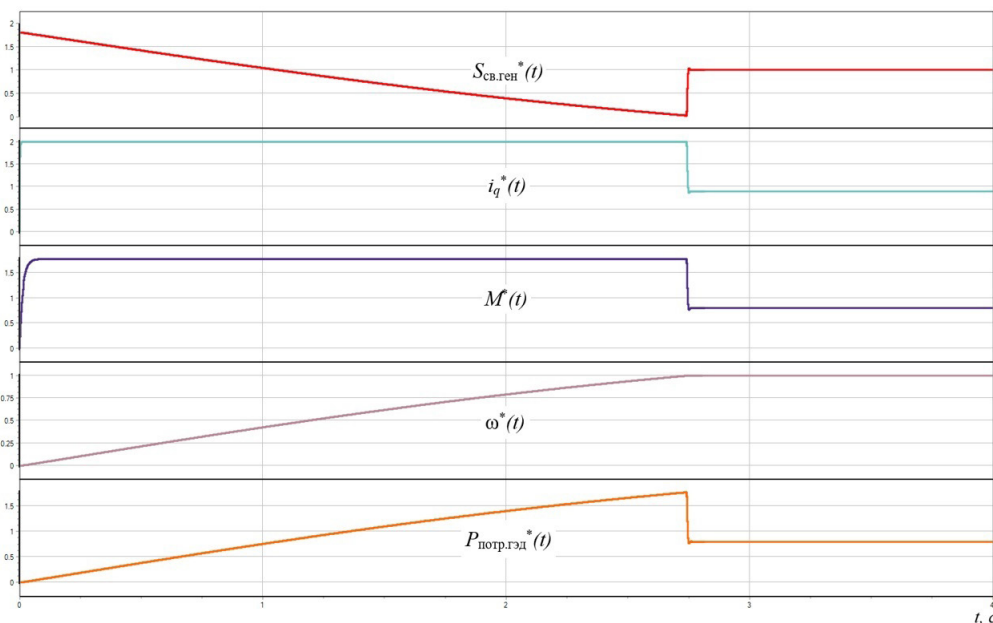


Рисунок 8. Результаты математического моделирования пуска и работы гребного электропривода при задании частоты вращения, равной единице, и «свободной» мощности электростанции, равной 1,8

На рисунке 9 представлена фазовая траектория $\omega^* = f(M^*)$ при пуске и работе гребного электропривода при задании частоты вращения, равной единице, и «свободной» мощности электростанции, равной 1,8.

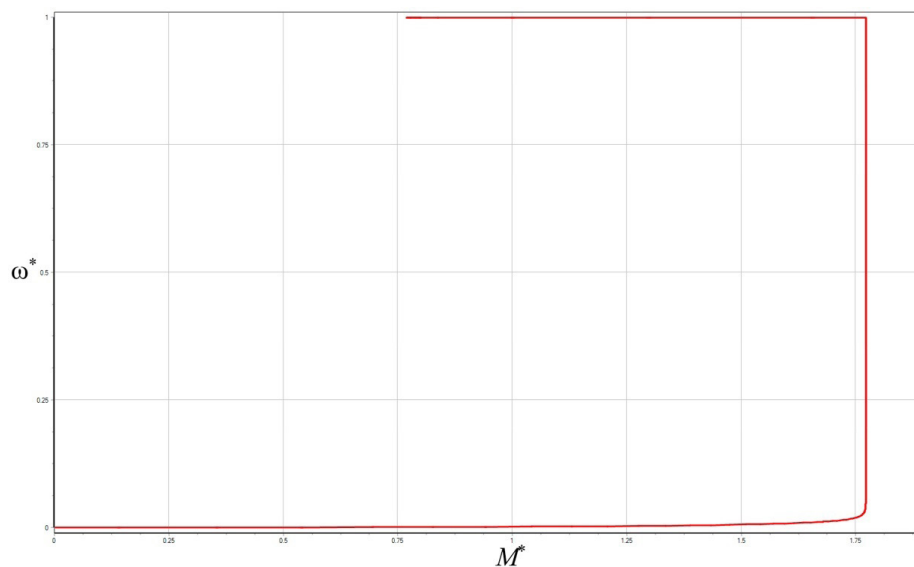


Рисунок 9. Фазовая траектория $\omega^* = f(M^*)$ при пуске и работе гребного электропривода при задании частоты вращения, равной единице, и «свободной» мощности электростанции, равной 1,8

Согласно временным диаграммам, представленным на рисунке 8, видно, что пуск электропривода происходит с постоянной максимально возможной величиной электромагнитного момента за минимально возможное время. При этом ни в динамическом, ни в статическом режимах адаптивная система управления не накладывает ограничения на величину мощности, потребляемой от электростанции.

Согласно приведенным результатам моделирования видно, что система обладает желаемым статическим и динамическим поведением, при этом мощность, отбираемая от энергосистемы для работы электропривода, не превышает заданной «свободной». При этом система управления гребной электрической установкой обладает простой и понятной структурой и может быть реализована для любого электропривода вне зависимости от типа используемой электрической машины. Следует отметить, что используя предложенный подход, не сложно синтезировать систему управления многодвигательным приводом единой гребной электрической установки с несколькими гребными винтами и несколькими источниками электрической энергии [13, 14].

При этом система управления гребной электрической установкой реализует два возможных семейства механических характеристик: управление частотой вращения гребного винта при «свободной» мощности электростанции, позволяющей достигать данную частоту вращения, и управление при ограничении и постоянстве мощности, когда «свободная» мощность электростанции недостаточна для достижения гребной электрической установкой заданной частоты вращения.

Семейство рабочих и ограничительных механических характеристик гребного электропривода в зависимости от величины «свободной» мощности, вырабатываемой электростанцией, представлено на рисунке 10.

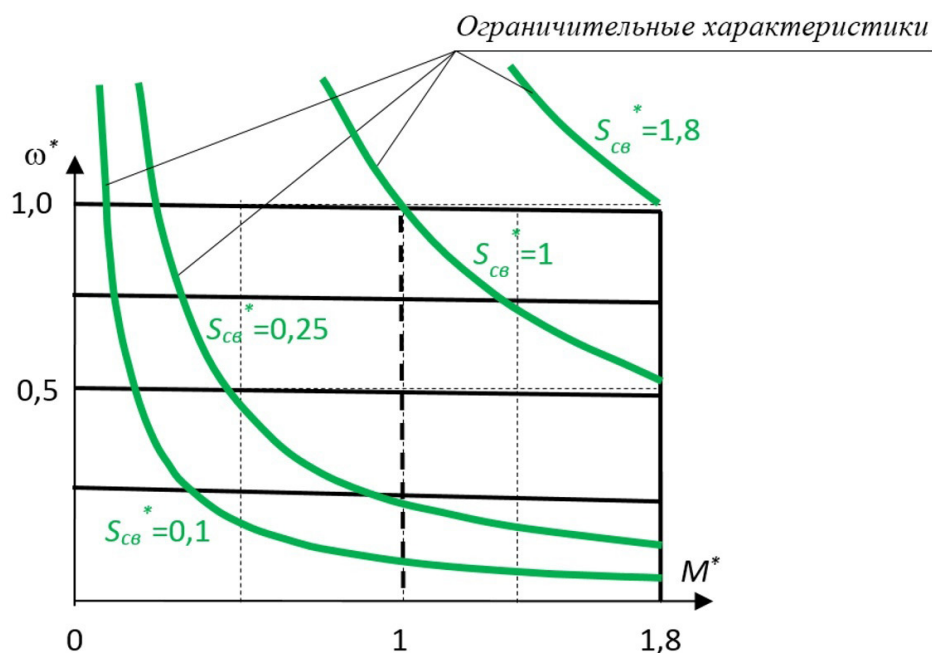


Рисунок 10. Семейство механических рабочих и ограничительных характеристик, реализуемых системой управления гребного электропривода

Заключение

Построена и исследована математическая модель гребной электрической установки с системой управления, позволяющей реализовать автоматизированное управление электроприводом с ограничением, наложенным на величину мощности, потребляемой от электростанции судна. Адаптивное управление гребным электроприводом в единой электроэнергетической системе на основе наблюдения за текущей мощностью потребителей собственных нужд позволит не допустить перегрузки электростанции с последующими негативными для нее последствиями, включая искажения напряжения и возможность аварийного отключения электропитания гребного электропривода и т.д. Такая система управления электроприводом будет наиболее востребована в структурах электродвижительных комплексов, в которых возможны режимы, когда текущая мощность электростанции меньше или равна требуемой статической текущей мощности потребителей электрической энергии. Система управления электроприводом, благодаря информационному взаимодействию с системой управления электростанцией, позволит осуществлять контроль баланса установленной мощности электростанции и потребля-

емой электрическими нагрузками объекта и реализовать соответствующее управление электроприводом или электростанцией в зависимости от разницы этих мощностей и приблизить потребляемую мощность потребителями к вырабатываемой мощности электростанции.

Реализация предложенной системы управления электроприводом гребной электрической установки позволит повысить экономичность эксплуатации, сократить затраты, оптимизировать электромагнитные процессы в единой электроэнергетической системе и увеличить ресурс источников энергии благодаря их рациональной нагрузке.

Список литературы:

1. Лазаревский Н.А., Хомяк В.А., Самосейко В.Ф., Гельвер Ф.А. Структурные схемы гребных установок, анализ и перспективы развития // Судостроение. 2012. № 3. С. 44–47.
2. Ясаков Г. С., Рамадан А. Обеспечение качества электроэнергии и улучшение электромагнитной обстановки в перспективных корабельных электроэнергетических системах // Актуальные проблемы защиты и безопасности ВМФ. 2009. Т. 4. С. 109–117.
3. Вершинин В.И., Махонин С.В., Паршиков В.А., Хомяк В.А. Создание систем электропривода для судов различного назначения // Труды Крыловского гос. науч. центра. 2019. Вып. 1(387). С. 5–16. <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2019-1-387-107-122>
4. Кахайли Д. М., Ясаков Г. С., Яковлев Д. Б. Обеспечение качества электроэнергии в единых корабельных электроэнергетических системах при наличии мощных статических преобразователей // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 4. С. 56–59.
5. Зырянов В.М., Мосиенко А.Б., Кузьменков О.П. Судовые электроэнергетические системы. Основы расчета и проектирования: учебное пособие для среднего профессионального образования. М.: Изд-во Юрайт; 2021. 195 с.
6. Васин И. М., Григорьев А. В., Хомяк В. А. Комплексный подход при создании судовых электроэнергетических систем и установок // Судостроение. 2008. № 2. С. 84.
7. Дарьенков А.Б., Мирясов Г.М., Титов В.Г., Охотников М.Н., Умяров Д.В. Гребные электрические установки: учеб. пособие. Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. техн. ун-та им. Р.Е. Алексеева; 2014. 219 с.
8. Гельвер Ф.А., Самосейко В.Ф. Система управления гребной электродвигательной установкой // Речной транспорт (XXI век). 2018. №3 (87). С. 48–51.
9. Самосейко В. Ф. Теоретические основы управления электроприводом. СПб.: ЭЛМОР; 2007. 459 с.
10. Самосейко В. Ф., Шарашкин С. В. Управление гребным реактивным электродвигателем с анизотропной магнитной проводимостью ротора // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. 2017. Т. 9. № 2. С. 390–401. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2017-9-2-390-401>
11. Захаров А.В. Перспективы технического применения синхронных электродвигателей с анизотропной магнитной проводимостью ротора // Состояние и перспективы развития электротехнологии (XVIII Бернадосовские чтения). Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. Иваново: 2015. С. 124–127.
12. Гельвер Ф.А., Белоусов И.В., Самосейко В.Ф., Хомяк В.А. Управление реактивной электрической машиной с анизотропной магнитной проводимостью ротора // Труды Крыловского гос. науч. центра. СПб.: 2019. Т. 3. № 389. С. 127–138. <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2019-3-389-127-138>
13. Вершинин В.И., Махонин С.В., Паршиков В.А., Хомяк В.А. Особенности построения системы управления гребными электроприводами универсальных атомных ледоколов нового поколения // Труды Крыловского гос. науч. центра. 2018. № 2 (384). С. 61–69. <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2018-2-384-61-69>
14. Шульга Р. Н. Применение распределенного электродвижения с использованием винторулевых колонок // Энергосбережение и водоподготовка. 2020. № 4(126). С. 56–64.

References:

1. Lazarevsky NA, Khomyak VA, Samoseiko VF, Gelper FA. Structural diagram(s) of propulsion units, analysis and development prospects. Shipbuilding. 2012;3:44–47. (In Russ.).

2. Yasakov GS, Ramadan A. Ensuring the quality of electric power and improving the electromagnetic environment in promising ship electric power systems. Actual problems of protection and safety of the Navy. 2009;4:109–117. (In Russ.).
3. Vershinin VI, Makhonin SV, Parshikov VA, Khomyak VA. Creation of electric propulsion systems for ships of various purposes. Proceedings of the Krylov state scientific center. 2019;1(387):5–16. (In Russ.).
4. Kahayli DM, Yasakov GS, Yakovlev DB. Ensuring Electric Power Quality in Unified Shipboard Electric Power Systems with High-Power Static Converters. Bulletin of ETU "LETI". 2015;4:56–59. (In Russ.).
5. Zyryanov VM, Mosienko AB, Kuzmenkov OP. Shipboard Electric Power Systems. Fundamentals of Calculation and Design: A Textbook for Secondary Vocational Education. Moscow: Yurait Publishing House; 2021.195 p. (In Russ.).
6. Vasin IM, Grigoriev AV, Khomyak VA. An Integrated Approach to the Creation of Shipboard Electric Power Systems and Installations. Shipbuilding. 2008;2:84. (In Russ.).
7. Dar'enkov AB, Miryasov GM, Titov VG, Okhotnikov MN, Umyarov DV. Propelling Electric Plants: A Textbook. – N. Novgorod: Publishing House of Nizhegorod. State Technical University named after R.E. Alekseev; 2014. 219 p. (In Russ.).
8. Gelver FA, Samoseiko VF. Propelling Electric Propulsion Plant Control System. River Transport (XXI Century). 2018;(87):48–51. (In Russ.).
9. Samoseiko VF. Theoretical Foundations of Electric Drive Control. St. Petersburg: ELMOR; 2007. 459 p. (In Russ.).
10. Samoseiko VF, Sharashkin SV. Control of a propulsion reluctance electric motor with anisotropic magnetic conductivity of the rotor. Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Maritime and Inland Shipping. 2017;9(2):390–401. (In Russ.).
11. Zakharov AV. Prospects for the technical application of synchronous electric motors with anisotropic magnetic conductivity of the rotor. The state and prospects of development of electrotechnology (XVIII Bernados Readings). Abstract of the report of the international scientific and technical conf. Ivanovo: 2015;124–127. (In Russ.).
12. Gelver FA, Belousov IV, Samoseiko VF, Khomyak VA. Control of a reactive electric machine with anisotropic magnetic conductivity of the rotor. Proceedings of the Krylov State Research Center. St. Petersburg: 2019;3(389):127–138 (In Russ.).
13. Vershinin VI, Makhonin SV, Parshchikov VA, Khomyak VA. Features of constructing a control system for propulsion electric drives of new-generation universal nuclear icebreakers. Proceedings of the Krylov Research Center. 2018;2(384):61–69. (In Russ.).
14. Shulga RN. Application of distributed electric propulsion using rudder propellers. Energy Efficiency and Water Treatment. 2020;4(126):56–64. (In Russ.).